

Die parallele Entwicklung "großer" Gehirne in verschiedenen Säugetiergruppen

Röhrs, Manfred

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1997 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.79-92



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

MANFRED RÖHRS

Die parallele Entwicklung „großer“ Gehirne in verschiedenen Säugetiergruppen

Braunschweig, 10. Oktober 1997*

Einleitung

Säugetiere sind eine Klasse der Wirbeltiere; Wirbeltiere sind bilateral-symmetrisch gebaut und können sich bewegen. Die Entstehung von Zentralnervensystemen steht in engem Zusammenhang mit der Fortbewegungsfähigkeit. Der Wirbeltierkörper besteht aus dem visceralen Apparat (Nahrungsaufnahme, Eingeweide) und dem somatischen Apparat (Orientierung und Fortbewegung). Für die Regelung der Tätigkeiten beider Apparate ist – neben den Hormonen – das Zentralnervensystem zuständig. Erforderlich hierfür sind Informationen aus dem Körper und der Umwelt sowie motorische Systeme, welche die Aktivitäten der Organsysteme steuern. Das ergibt vier neurale Funktionseinheiten:

Allgemeine Viscerosensorik – Allgemeine Visceromotorik

Allgemeine Somatosensorik – Allgemeine Somatomotorik

Diese vier Komponenten lassen sich im Rückenmark und den Rückenmarksnerven anatomisch und physiologisch eindeutig nachweisen. Über das Rückenmark (und den Nervus vagus) werden die Aktivitäten der visceralen und somatischen Organsysteme des Rumpfes gesteuert (Abb. 1).

Der Kopf ist zuständig für zwei biologisch ursprüngliche Aufgaben: Nahrungsaufnahme und Orientierung. Die Nahrungsaufnahme erfolgte bei primitiven Wirbeltierformen zunächst durch den Kiemendarm; das ist der vordere Darmabschnitt, welcher zu einem Filterapparat umgestaltet wurde. Aus diesem Kiemendarm bildet sich der Kieferapparat, dieser ist somit visceraler Herkunft. Im Bereich des Kieferapparates liegt der spezialisierte Geschmackssinn = spezialisierte Viscerosensorik. Die viscerele Muskulatur des Kieferapparates ist quergestreift und willkürlich steuerbar = spezielle Visceromotorik. Für die Steuerung des Kiemendarms, beziehungsweise des Kieferapparates ist das Rhombencephalon zuständig (Abb. 1).

Die für die Fortbewegung erforderlichen Informationen werden durch die spezialisierten Sinnesorgane Nase, Ohr und Auge gewonnen = spezielle Somatosensibilität. Für die Auswertung der Erregungen aus diesen Sinnesorganen ist das Prosencephalon zuständig. Prosencephalon und Rhombencephalon bilden das Gehirn, welches ursprünglich vorwiegend für den Kopf zuständig ist; bis auf den Nervus vagus verlassen die anderen elf Hirnnerven den Kopfbereich nicht (Abb. 1).

* Vortrag vor der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

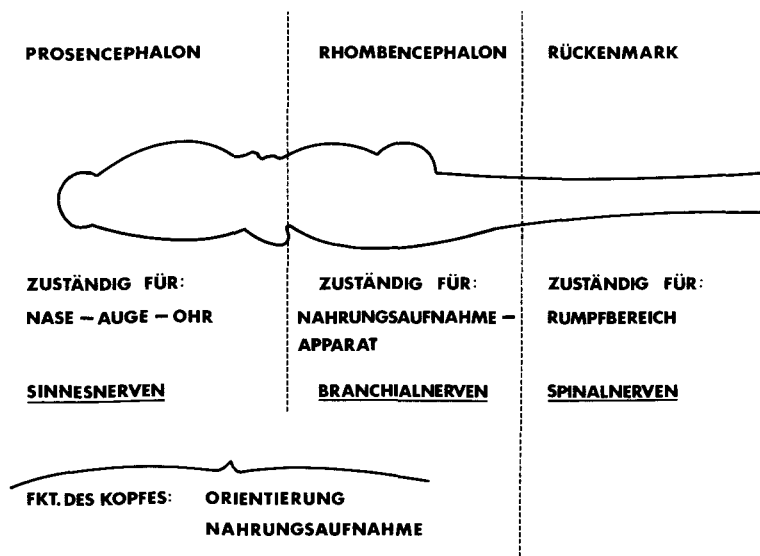


Abb. 1:

Zentralnervensystem der Wirbeltiere, Grundbauplan lateral, funktionelle Zuordnung

Der geschilderte Grundaufbauplan des Zentralnervensystems gilt für alle Wirbeltiere. Dieser Grundbauplan aber hat in der Stammesgeschichte mannigfaltige Abwandlungen erfahren, weitere Spezialisierungen und Höherentwicklungen haben stattgefunden und viele neue Leistungen stellten sich ein. Kein anderes Organ hat in der Evolution derartig tiefgreifende Änderungen erfahren wie das Gehirn.

Die stammesgeschichtlichen Änderungen des Zentralnervensystems betreffen weniger das viscerale Nervensystem, dieses arbeitet autonom; das bedeutet unabhängig vom Willen. Selbst wir Menschen wären völlig überfordert, wollten wir die Aktivitäten unserer Eingeweide willkürlich und bewußt regeln. Die Höherentwicklung von Gehirnen vollzieht sich im somatischen Nervensystem, ganz besonders im speziell somatischen. Speziell somatische Sinnesorgane mit großen Leistungen gibt es in allen Wirbeltierklassen; die wichtigen stammesgeschichtlichen Änderungen haben sich ereignet in den Hirnzentren, welche die Erregungen aus diesen Sinnesorganen verarbeiten und dann über die somatomotorischen Systeme in Handlungen umsetzen.

Schon früh bilden sich auf dem Rhombencephalon zwei übergeordnete Strukturen: Tectum opticum und Cerebellum. Das Tectum opticum ist Endstation der in das Prosencephalon eintretenden Sehbahnen, es erhält aber auch Informationen von anderen Sinnesorganen und ist damit ein erstes übergeordnetes Zentrum für die spezielle Somatosensorik. Bis zu den Vögeln hat das Tectum opticum eine große Bedeutung, bei den Säugetieren ist es rückgebildet und nur noch für wenige Reflexe zuständig.

Das Cerebellum besitzt ständig alle Informationen über die Lage und die Bewegungszustände des Körpers; es gewährleistet dadurch wohl koordinierte Bewegungsabläufe.

Besonders gut ausgebildet ist das Cerebellum bei Tieren mit sehr differenzierten Fortbewegungsweisen (Klettern, Fliegen, Schwimmen). Das Cerebellum behält auch bei Säugetieren seine Bedeutung für die Koordination der Fortbewegung.

Säugetiere haben im dorsalen Bereich des Prosencephalon einen neuen Hirnteil entwickelt, den Neocortex. Dieser Teil wird auch als Neuhirn allen anderen Hirnteilen gegenübergestellt. Der Neocortex (Neuhirnrinde) empfängt aus nahezu allen somatischen Sinnessystemen Erregungen, wertet sie aus, setzt sie miteinander in Beziehung und bewirkt Handlungen. Der Neocortex kann über die Pyramidenbahn die somatomotorischen Systeme des Rückenmarks direkt beeinflussen und kontrollieren; auch die speziell visceromotorischen und die somatomotorischen Zentren des Rhombencephalon können vom Neocortex beeinflusst werden. Bei den Säugetierarten ist der Neocortex sehr unterschiedlich ausgeprägt; in manchen Stammesreihen hat er an Größe und damit funktionellen Möglichkeiten enorm zugenommen. Bei einer Spitzmaus beträgt der Neocortex 9% des Gehirns, beim Menschen 76%. Der Neocortex spielt eine große Rolle bei Lernvorgängen und Gedächtnis, bei höchstentwickelten Säugetieren auch für folgerichtiges Denken und Bewußtsein.

Die quantitative Zunahme von übergeordneten Systemen, bei Säugetieren besonders des Neocortex, führt zu Zunahme der Gesamthirngröße. Zunahme der Hirngröße bedeutet Zunahme der Neuronenzahl, der synaptischen Verbindungen der Differenzierung und der funktionellen Möglichkeiten (STEPHAN et al. 1986). Die Analyse und Beurteilung von Hirngrößen ist somit ein erster Schritt bei der Bewertung der Evolutionshöhe von Gehirnen. Dies soll am Beispiel Säugetiere dargestellt werden.

Die Bewertung von Hirngrößen

Diskussionen zur Beurteilung der Hirngröße werden seit über 200 Jahren geführt. Das kleinste Säugetier – die etruskische Spitzmaus – hat bei einem Körpergewicht von 1,72 g ein Hirngewicht von 0,059 g, der Mensch bei einem Körpergewicht von 70000 g ein Hirngewicht von 1400 g und der Pottwal bei einem Körpergewicht von 36 Tonnen ein Hirngewicht von 8000 g. Das relative Hirngewicht (Hirngewicht % Körpergewicht) beträgt bei der etruskischen Spitzmaus 3,43 %, beim Menschen 1,87 % und beim Pottwal 0,022 %. Absolute und relative Hirngröße sagen also über die Entwicklungshöhe und Leistungsfähigkeit von Gehirnen nichts aus.

Schon HALLER (1762) hat festgestellt, daß in einem nahen Verwandtschaftskreis die größeren Arten relativ kleinere Gehirne besitzen als die kleineren Arten. Beim Wolf beträgt das relative Hirngewicht 0,3 %, beim Rotfuchs 0,6 %. In Hirnstruktur und Leistungen zeigen die beiden Arten aber keine Unterschiede. Diese rein körpergrößenbedingten Unterschiede der relativen Hirngröße lassen sich mit der Allometriegesetzen beschreiben:

$$\text{Hirngewicht} = b \cdot \text{Bruttokörpergewicht}^a.$$

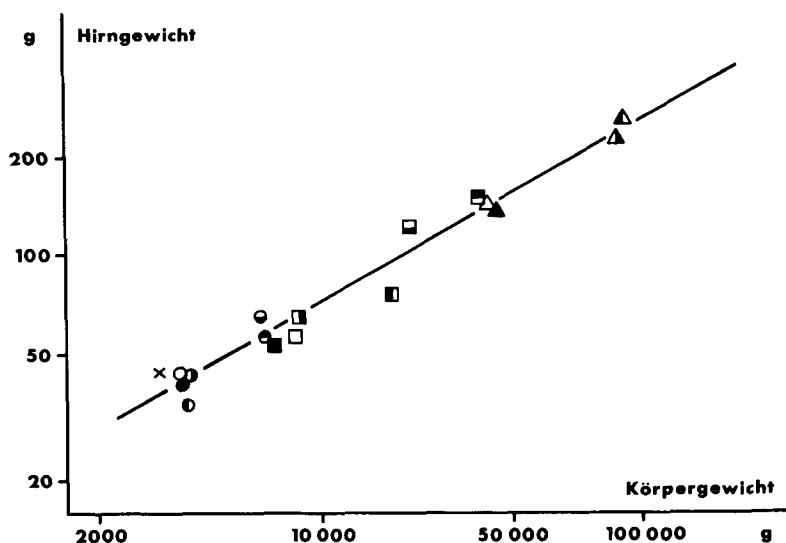


Abb. 2:

Beziehung Hirngewicht – Körpergewicht für 17 Felidenarten. Interspezifische Allometrie Gerade $a = 0,566$ ($\tan \alpha$ des Steigungswinkels der Geraden)

Bei Logarithmierung entsteht die Gleichung einer Geraden, dadurch werden statistische Verfahren für den Vergleich der Allometrie geraden verschiedener systematischer Einheiten möglich. a kennzeichnet die Abhängigkeit des Hirngewichts vom Bruttokörpergewicht, b ist ein quantitativer Ausdruck für solche Faktoren, welche außerdem das Hirngewicht bestimmen.

Der a -Wert läßt sich ermitteln bei Arten sehr naher Verwandtschaft, die sich möglichst nur im Körpergewicht unterscheiden, das ist z.B. bei Feliden (Katzenartige) und Caniden (Hundeartige) der Fall (Abb. 2). Es gilt ein a -Wert von 0,566 für den interspezifischen Bereich. Die Übereinstimmung dieses a -Wertes in verschiedenen systematischen Einheiten erlaubt es, die b -Werte direkt miteinander zu vergleichen. Unterschiede der b -Werte sind dann Ausdruck von Hirngewichtsunterschieden unabhängig von der Körpergröße. Diese b -Werte werden als Cephalisationswerte bezeichnet. Als Bezugsbasis wurde der b -Wert des Iltis gewählt und = 100 gesetzt.

Progressive evolutive Entwicklung der Hirngröße in der Pferdereihe

Die frühesten placentalen Säugetiere waren spitzmausähnlich, viele dieser Insectivora blieben bis heute auf primitivem Evolutionsniveau von Säugetieren stehen. Die etruskische Spitzmaus hat einen Cephalisationswert von ~23. Bei anderen Säugetieren setzte mit Beginn des Tertiärs eine adaptive Radiation ein; sie besetzten alle möglichen Le-

Cephalisationswerte in der Stammesreihe der Pferdeartigen

Hyracotherium	Eozän	37
Meshippus	Oligozän	150
Merychippus	Miozän	197
Pliohippus	Pliozän	133
Equus przewalskii		<u>274</u>

*Tabelle 1:
Zunahme der Cephalisationshöhe in der Pferdereihe*

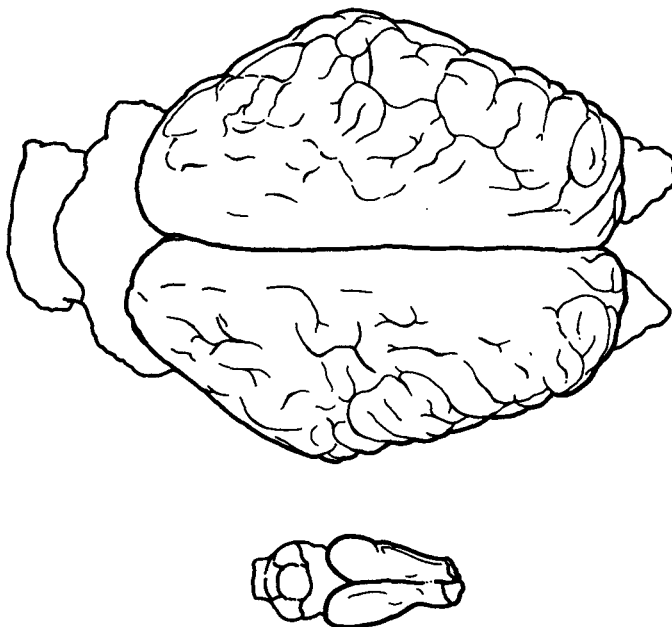


Abb. 3:

Hirnschädelausgüsse von Hyracotherium (u.) und Equus (o.).

Hyracotherium: Großer Bulbus olfactorius, gering entwickelter Neocortex, freiliegendes Tectum opticum. Equus: Neocortex enorm vergrößert und hoch differenziert (nach EDINGER 1950)

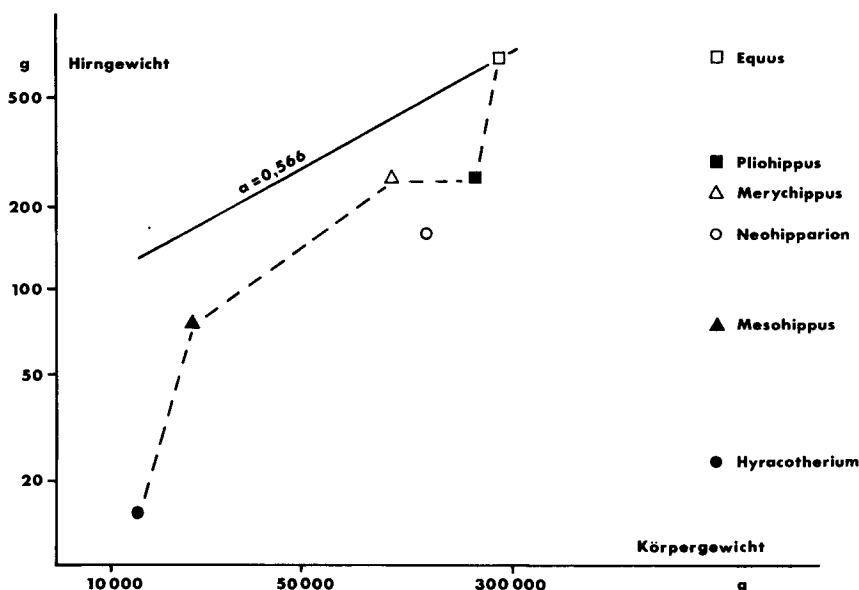


Abb. 4:

Beziehung Hirngewicht–Körpergewicht bei rezenten Equidenarten
(— $a = 0,566$) und Zunahme der Hirngröße in der Stammesgeschichte der Pferde
(RÖHRS und EBINGER 1993)

bensräume und veränderten dabei ihre Anatomie, ihre physiologischen Leistungen und ihre Verhaltensweisen. Oft kam es dabei zu einer Vergrößerung und Höherdifferenzierung der Gehirne, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. Sehr gut dokumentiert sind solche Änderungen in der Stammesreihe der Pferdeartigen (EDINGER 1950). *Hyracotherium*, die Ursprungsform der Pferdeartigen im Eozän hatte einen Cephalisationswert von 37, beim Przewalskipferd beträgt dieser Wert 274 (Tab. 1). Innerhalb von 60 Millionen Jahren vergrößerte sich das Gehirn unabhängig von der Körpergröße um ~ das Siebenfache. Das Gehirn von *Hyracotherium* war so primitiv wie das eines Opossums (Cephalisation 45); der Neocortex war gering entwickelt und ungefurcht. Die Hirngrößenzunahme bis zu den heutigen Pferden war besonders durch die Neocortexzunahme bedingt (Abb. 3). Die Körpergröße nahm in der Pferdereihe ebenfalls zu, weder für das Gehirn noch für den Körper verlief die Größenzunahme kontinuierlich (Abb. 4). Es gab Zunahmen der Körpergröße ohne Änderungen der Hirngröße und umgekehrt (RÖHRS und EBINGER 1993). Auch die Umkonstruktionen von Gebiß und Extremitäten verlief nicht synchron und nicht kontinuierlich; man spricht von mosaikartiger Entwicklung.

Pferde sind Vertreter der Ordnung Perissodactyla. In diese Ordnung gehören auch Klippschliefer, Tapire und Nashörner; die Arten dieser drei Gruppen haben den Cephalisationswert von 130 nicht überschritten. Pferde besitzen unabhängig von der Körpergröße doppelt so große Gehirne als ihre Verwandten innerhalb der Perissodactyla.

Die Cephalisation bei Landraubtieren (Fissipedia) und Elefanten (Proboscidea)

Für Landraubtiere konnten wir (HERRE und RÖHRS) auf mehreren Expeditionen umfangreiches Datenmaterial über Hirn- und Körpergewicht gewinnen und für viele Arten die Cephalisationswerte bestimmen (RÖHRS 1959, 1985, 1986; RÖHRS et al. 1989). Die Marderartigen (Mustelidae) sind eine außerordentlich vielgestaltige Familie mit Anpassungen an recht unterschiedliche Lebensräume. Das nordamerikanische Stinktier *Mephitis mephitis* hat innerhalb der Raubtiere die geringste Cephalisation (65). Merkwürdig ist, daß südamerikanische Stinktiere höher cephalisiert sind: *Conepatus humboldti* (103), *Conepatus chinga* (150). Dies Beispiel zeigt, daß selbst bei Arten naher Verwandtschaft beträchtliche Hirngrößenunterschiede bestehen können. Die biologische Bedeutung dieser Unterschiede innerhalb der Stinktiere (Mephitinae) ist bisher nicht bekannt (Tab. 2).

Auch bei den Mardern in engerem Sinne (Mustelinae) bestehen erhebliche Cephalisationsunterschiede. Die beiden Arten *Mustela vison* (Wildnerz) und *Mustela putorius* (Iltis) haben Cephalisationswerte von 100. Beide Arten sind Bodenbewohner und orientieren sich vorwiegend olfaktorisch. Der Geruchssinn ist stammesgeschichtlich ein altes System, aber selbst überdurchschnittliche Leistungen der Nase führen kaum zu überdurchschnittlich großen Gehirnen bei Säugetieren. Der Baummarder (*Martes martes*) und auch der Steinmarder (*Martes foina*) haben mit Cephalisationswerten von 184 beträchtlich höher entwickelte Gehirne als Nerz und Iltis. Beide sind ausgezeichnete Kletterer unter den Musteliden, sie hat ein gutes optisches System. Tayras sind Jäger, fressen aber auch Früchte, sind in Bezug auf Nahrung sehr vielseitig und haben sich an verschiedene Lebensräume angepaßt. Tayras sind sozialer als andere Marderarten. Diese Besonderheiten machen den Cephalisationswert von 233 verständlich (Tab. 2).

Cephalisationswerte bei Musteliden

Stinktiere	
<i>Mephitis mephitis</i>	65
<i>Conepatus humboldti</i>	103
<i>Conepatus chinga</i>	150
Marder	
<i>Mustela vison</i>	100
<i>Mustela putorius</i>	102
<i>Martes martes</i>	184
<i>Eira barbara</i>	233
Fischotter	
<i>Lutra lutra</i>	205
<i>Lutra canadensis</i>	212
<i>Pteronura brasiliensis</i>	260

Tabelle 2:
Überdurchschnittlich hohe Cephalisationswerte
bei *Eira barbara* und *Pteronura brasiliensis*

Cephalisationswerte

bei Procyoniden (Kleinbären)

Nasua rufa	201
Potos flavus	205
Procyon lotor	205
Procyon cancrivorus	<u>302</u>

bei Ursiden (Bären)

Ursus maritimus	242
Ursus arctos	244
Helarctos malayanus	<u>391</u>

Tabelle 3:
Überdurchschnittlich hohe Cephalisationswerte bei
Procyon cancrivorus und Helarctos malayanus

Fischotter (Lutrinae) haben sich zum Teil an ein Leben im Wasser angepaßt, sie jagen dort ihre Beute. Fischotter können sich aber auch an Land gut bewegen. Von den bisher untersuchten Vertretern der Lutrinae hat der südamerikanische Riesenotter (*Pteronura brasiliensis*) mit einem Wert von 260 die höchste Cephalisationsstufe erreicht. Neben dem Seeotter ist der ~20000 g schwere Riesenotter besser an das Wasserleben angepaßt als die übrigen Otter. Mit den Augen und Vibrissen („Schnurrhaare“) verfügen Riesenotter über ein sehr gutes optisches und mechanisches Orientierungs- und Ortungssystem; im Vergleich zu anderen Fischottern sind die Kletter- und Manipulationsfähigkeiten sehr ausgeprägt. Riesenotter leben in Sozialverbänden, sie verfügen über ein differenziertes akustisches und olfaktorisches Kommunikationssystem; Spielverhalten und Neugierde sind weitere auffällige Merkmale. Manche der genannten Eigenschaften sind auch bei anderen Fischottern vorhanden, aber nicht so stark ausgeprägt; ihre Cephalisationswerte liegen um 200 (Tab. 2).

Die Cephalisationswerte der Kleinbären (Procyonidae) betragen etwa 200, aber mit einem Wert von 302 übersteigt der südamerikanische Krabbenwaschbär (*Procyon cancrivorus*) die Cephalisationswerte der anderen Kleinbären ganz erheblich (Tab. 3). Der Krabbenwaschbär unterscheidet sich im Erscheinungsbild und in der Biologie kaum vom nordamerikanischen Waschbär. Bei gefangen gehaltenen Krabbenwaschbären und nordamerikanischen Waschbären in unserem Institut konnten bisher keine auffälligen Verhaltensunterschiede zwischen den beiden Arten festgestellt werden. Möglicherweise werden besondere Leistungen von Krabbenwaschbären nur in freier Wildbahn erbracht. Das um nahezu 70 % größere Gehirn des Krabbenwaschbären gegenüber seinem nord-

amerikanischen Verwandten muß eine besondere Bedeutung haben, ungenutzte Hirnteile werden nämlich zurückgebildet.

Eine Art der Bären (Ursidae) hat mit 391 den höchsten Cephalisationswert bei Landraubtieren erreicht; es ist der um 55 000 g schwere Malayenbär (*Helarctos malayanus*), seine Cephalisationshöhe erreicht die von Menschenaffen (Tab. 3, 4). Der Malayenbär lebt im kompliziert strukturierten Regenwald Südostasiens; unter den Bären ist er der beste Kletterer. Seine Finger sind ungewöhnlich stark spreizbar, was zu einer guten Greiffähigkeit führt. Malayenbären besitzen herausragende Fähigkeiten in der Beurteilung von räumlichen Gegebenheiten; bei Zoopersonal sind sie als gewitzte Ausbrecher nicht gerade beliebt. Malayenbären sind vorwiegend Fruchtfresser und wissen wann und wo Früchte und andere Nahrung freßbar sind, das gewährleistet eine gute Anpassungsfähigkeit.

Innerhalb der anderen Familien der Fissipedia lassen sich Arten mit überdurchschnittlich großen Gehirnen nicht nachweisen. Bei Viverridae und Hyanidae liegen die Cephalisationswerte der einzelnen Arten um 150, bei Ailuridae, Canidae und Felidae um 220.

Die **Elefanten** (Proboscidea) überragen in der Cephalisation noch den Malayenbären. Mit einem Cephalisationswert von 600 liegt der Indische Elefant über der Cephalisationshöhe von Menschenaffen. Elefanten können ausgezeichnet lernen; Arbeitselefanten unterscheiden ohne Schwierigkeiten 30 Kommandos. Die Gedächtnisleistungen sind außerordentlich hoch. Elefanten verfügen über sehr gute akustische Kommunikationsmöglichkeiten; mit dem Rüssel besitzen sie ein Werkzeug, das sie vielfältig einsetzen können. Die Sozialbindungen der Elefanten sind sehr intensiv, in Gefahrensituationen leisten sie sich gegenseitig Hilfe.

Cephalisation bei Primaten und die Sonderstellung von *Homo sapiens*

Bei Erörterungen über die Sonderstellung des Menschen spielen Hirn- und Verhaltensstudien eine große Rolle. Wir gehören zur Ordnung Primates, daher sind Primaten Gegenstand intensiver Forschung, um Vorstufen menschlicher Hirnbesonderheiten und Verhaltensformen zu erkennen. Primaten sind vielgestaltig, sie haben sich unterschiedlichen Lebensräumen angepaßt; es gibt Pflanzenfresser, Allesfresser und Fleischfresser. Nicht alle Primaten haben hoch entwickelte Gehirne; z.B. beträgt der Cephalisationswert beim Halbaffen *Lepilemur ruficaudatus* nur 83. Dieser Wert liegt noch unter dem vieler Nagetiere.

Die Menschenaffen (Pongidae) sind unter den rezenten Primaten unsere nächsten Verwandten, aber nicht unsere direkten Vorfahren. Pongidae haben große Gehirne (Tab. 4); ganz unabhängig davon sind aber auch bei den südostasiatischen Gibbons (Hylobatidae) und den südamerikanischen Kapuzineraffen, Wollaffen und Klammeraffen (Cebidae) Gehirne mit ähnlich großen Cephalisationswerten entstanden wie bei den Pongidae (Tab. 4). Die Biologen haben sich besonders intensiv mit der Biologie und den Verhaltensweisen von Menschenaffen beschäftigt, besonders bei Schimpansen. Als Be-

Cephalisationswerte bei Primaten

Lepilemur ruficaudatus		83
Ateles geoffroyi	(Klammeraffe)	348
Cebus albifrons	(Kapuziner)	391
Lagothrix lagotricha	(Wollaffe)	415
Hylobates ...	(Gibbon)	386
Pongo pygmaeus	(Orang-Utan)	376
Gorilla gorilla		324
Pan troglodytes	(Schimpanse)	419

Tabelle 4:

Cephalisationswert beim Halbaffen Lepilemur. Hohe Cephalisationswerte bei drei verschiedenen Primatenfamilien: Cebidae (Ateles, Cebus, Lagothrix) Hylobatidae (Hylobates) und Pongidae (Pongo, Gorilla, Pan)

sonderheiten wurden herausgestellt: lange Jugendzeit mit umfangreichen Lernmöglichkeiten und stark ausgeprägtem Spiel- und Neugierverhalten. Ausgezeichnetes optisches System mit räumlichen Vorstellungsvermögen für die Orientierung und Bewegung in Baumkronen. Greifhand und Greiffuß erlauben differenzierte Bewegungen und ermöglichen eine sehr gute Manipulationsfähigkeit. Werkzeugherstellung und Werkzeuggebrauch sind weitere wichtige Merkmale. In Ansätzen sind Schimpansen zu folgerichtigem Denken fähig, sie können ohne Erfahrungen bestimmte Situationen meistern. Diese beschriebenen Verhaltensmerkmale sind aber auch für südamerikanische Cebiden nachgewiesen worden.

Manche Verhaltensweisen der Schimpansen kann man als Modelle für erste Schritte in Richtung *Homo sapiens* ansehen. Unser Gehirn aber ist etwa dreimal so groß als das von Schimpansen und entsprechend leistungsfähiger. Zwischen Menschen und Schimpansen klafft also eine große Lücke. Unsere direkten Vorfahren müssen noch andere Merkmale und Eigenschaften besessen haben als Schimpansen. *Homo sapiens* ist die einzige lebende Art der Familie Hominidae. Die Stammesgeschichte des Menschen ist durch zahlreiche Funde gut belegt. Gut erhaltene Schädel und Skelette fossiler Hominidenarten erlaubten recht gute Schätzungen von Hirn- und Körpergrößen (GORE 1997), damit auch eine erste ungefähre Bestimmung von Cephalisationswerten.

Vor etwa 4 Millionen Jahren tauchten im südlichen und östlichen Afrika die Australopithecinen auf; ihre Entstehung wird in Zusammenhang gebracht mit einem Klimawechsel, der zur Bildung von offeneren Buschsteppen führte. Ursprünglich baumbewohnende Primaten paßten sich diesem Lebensraum an. Die Australopithecinen entwickelten nach und nach den aufrechten Gang. Australopithecinae ernährten sich vorwiegend vegetarisch. Sie nutzten die von ihren baumlebenden Vorfahren übernommenen Fähigkeiten: das optische System für die Orientierung in offenem Gelände, die Greifhand als Werkzeug und zum Nahrungserwerb. Australopithecinae entwickelten verschiedene Anpassungstypen. Die Cephalisationshöhe der Australopithecinae lagen über der von

Cephalisationswerte bei Hominiden

Australopithecinae

	Mill. Jahre	Dauer	Cephalisation
<i>Australopithecus afarensis</i>	3.9 - 3	0.9	573
<i>Australopithecus africanus</i>	3 - 2.3	0.7	666
<i>Australopithecus boisei</i>	2.6 - 1	1.6	657
<i>Australopithecus robustus</i>	2 - 1.2	0.8	688

Homininae

<i>Homo habilis</i>	2.5 - 1.6	0.9	795
<i>Homo erectus</i>	1.8 - 0.1	1.7	986
<i>Homo sapiens</i>	0.8 -		<u>1452</u>

Tabelle 5:

Zunahme der Cephalisationshöhen in der Stammesreihe bis Homo sapiens

Schimpansen, im Laufe von zwei Millionen Jahren nahmen sie von 573 auf 688 zu (Tab. 5). Trotz ihres hohen Cephalisationsgrades starben alle Arten der Australopithecinae wieder aus, der letzte Vertreter vor einer Million Jahren. Ursachen des Aussterbens zu verstehen ist genau so schwierig wie Ursachen der Entstehung von Arten zu begreifen.

Die Homininae lassen sich von den Australopithecinae herleiten. Im südlichen und östlichen Afrika entstanden nacheinander vor 2,5 Millionen Jahren *Homo habilis*, vor 1,8 Millionen Jahren *Homo erectus* und vor 800 000 Jahren *Homo sapiens*. Die Tendenz zur Vergrößerung der Gehirne (besonders des Neocortex) ist bei den Homininae ungebrochen. Den Höhepunkt hat *Homo sapiens* mit einem Cephalisationswert von 1452 erreicht (Tab. 5). Im Verlauf der Geschichte von *Homo sapiens* aber haben nach heutigen Kenntnissen keine Hirnveränderungen mehr stattgefunden.

Homo habilis war noch eine recht unauffällige Art nach bisherigen Funden, sie verließ Afrika nicht. Nachgewiesen ist die Herstellung von Werkzeugen. *Homo erectus* bewegte sich aufrecht; Lernvermögen, Gedächtnis, Neugier und Kommunikationsvermögen müssen sehr gut ausgeprägt gewesen sein. Die Art wurde Allesfresser, vielfältige Jagdwaffen wurden erfunden und die Jagd kooperativ betrieben. Damit wurde der Gewinn von Nahrung einfacher und es entstanden Freizeiten, in denen Neugierde befriedigt werden konnte. Neugierde veranlaßte Angehörige von *Homo erectus*, Afrika zu verlassen und Europa, Ostasien und Südostasien zu besiedeln.

Homo sapiens hat den Höhepunkt der Hirnentfaltung erreicht. Die Eigenschaften von *Homo erectus* wurden noch einmal gesteigert. Einige besondere Merkmale seien noch einmal genannt: sehr lange Jugendzeit mit Spiel- und Lernmöglichkeiten, Neugierde bis ins hohe Alter, Akustik als hoch spezialisiertes Kommunikationssystem, Sprache und damit die Fähigkeit, Kenntnisse und Erfahrungen an nachfolgende Generationen zu übermitteln; das optische System ermöglicht eine ausgezeichnete Orientierung und Be-

urteilung räumlicher Gegebenheiten, in Zusammenhang hiermit wurde die Greifhand ein vielseitig einsetzbares Werkzeug. Die Herstellung von Fischfanggeräten, Jagdwaffen und anderen Werkzeugen wurde gegenüber *Homo erectus* enorm verbessert; Arbeitsteilungen wurden möglich.

Die Fähigkeiten des Menschen gestatteten recht leichten Nahrungserwerb, und damit war Raum für Neugierde. Wie schon bei *Homo erectus* verließen Angehörige von *Homo sapiens* Afrika und besiedelten Europa, Asien, Australien und schließlich auch Amerika, nahezu alle vorhandenen Lebensräume wurden besiedelt.

Die Jagdmethoden der Menschen und auch die Bevölkerungszunahme führten in manchen Gebieten dazu, daß jagdbare Tiere immer weniger oder auch ausgerottet wurden (Vorderer Orient, Mittel- und Südeuropa, Indien, China, Südamerika). Nach biologischen Regeln hätte das zur Verringerung menschlicher Bevölkerungsgruppen führen müssen, tat es aber nicht. Die Menschen kultivierten Pflanzen und domestizierten Tiere, es wurden von da an Nahrungsmittel produziert. Die Domestikation war ein aktiver und folgenreicher Eingriff in die Umwelt, so etwas hatte es vorher in der Natur nicht gegeben (HERRE und RÖHRS 1990). Die Auswirkungen: Siedlungen, Städte, Staaten, Hochkulturen, technische Revolution, Zivilisationen. Welche Auswirkungen die Aktivitäten von Menschen in Zukunft auf die Erde haben werden, ist schwer abzuschätzen; es wird weitgehend davon abhängen, in welchem Ausmaß die Vernunft unsere Handlungen bestimmen wird.

Cephalisation bei wasserlebenden Säugern

Bei Erörterungen über hochentwickelte Gehirne dürfen Säugetiere, welche zu einem Leben im Wasser zurückgekehrt sind, nicht fehlen. Das Datenmaterial von Hirngewichten und Körpergewichten ist nicht sehr umfangreich; führt aber zu einigen bemerkenswerten Ergebnissen, die kurz dargestellt werden sollen.

Die Robben sind Abkömmlinge von Landraubtieren, sie sind vorwiegend Meeresbewohner und jagen im Wasser ihre Beutetiere, sie können sich aber noch an Land aufhalten (Fortpflanzung). Robben sind eine Unterordnung der Raubtiere (Pinnipedia). Für fünf Robbenarten liegen die Cephalisationswerte zwischen 362–393, sie sind also höher cephalisiert als die meisten Landraubtiere. Das ist zurückzuführen auf Zunahme des Neocortex und des Cerebellum und hängt zusammen mit den differenzierten Bewegungsweisen im Wasser und dem Beutefangverhalten.

Die Seekühe (Ordnung Sirenia) sind an rein aquatile Lebensweise angepasste Abkömmlinge ancestraler Huftiere (STARCK 1995). Sirenen bewohnen Küstengewässer, Mündungsgebiete großer Flüsse und meiden die Hochsee. Die Seekühe sind reine Pflanzenfresser. Bemerkenswert ist der geringe Grad der Hirnentfaltung, die Cephalisationswerte liegen zwischen 100–115. Für die Nahrungsaufnahme von Meerespflanzen sind keine differenzierten Bewegungsweisen erforderlich, dies ist zum Teil eine Erklärung für das niedrige Niveau des Gehirns.

Die Wale (Cetacea) sind die Säugetiere, welche sich am besten an ein Leben im Wasser angepaßt haben. Das erforderte viele Umkonstruktionen; die meisten Wale leben in der Hochsee, einige in Flüssen. Manche Besonderheiten von Walgehirnen sind als Spezialisierung und Anpassungen an das Leben im Wasser zu verstehen (Ortung, Kommunikation, Orientierung).

Zoobesucher sind immer erstaunt über die gezeigten Kunststücke der „Delphine“, es werden bei diesen Dressuren die natürlichen Verhaltensweisen der Tiere ausgenutzt. Delphine gehören zur Unterordnung Odontoceti (Zahnwale), diese Wale sind Raubtiere und haben hervorragende Jagdmethoden entwickelt. Zahnwale besitzen sehr hochentwickelte Gehirne, die Cephalisationswerte liegen zwischen 600 und 1000, also über denen der Primaten. Allerdings gibt es eine Ausnahme, den Pottwal; sein Cephalisationswert beträgt 240. Der Pottwal hat das schwerste Gehirn aller Tierarten, max. ~9000 Gramm. Es wird spekuliert, daß mit den üblichen Bausteinen und physiologischen Eigenschaften eine weitere Vergrößerung unmöglich ist.

Die Bartenwale (Mysticeti) sind zu einer sehr alten Methode des Nahrungsgewinners zurückgekehrt, die Barten und der Kieferapparat bilden einen Filter für Kleintiere, besonders den Krill. Bei dieser Form der Nahrungsaufnahme sind keine komplizierten Fortbewegungen mit ausgezeichneten Orientierungsmethoden erforderlich. Bartenwale haben weit geringer differenzierte Gehirne als Zahnwale, bei vier Arten betragen die Cephalisationswerte 170–200.

Robben und Zahnwale haben sehr leistungsfähige Gehirne, beide sind ungewöhnlich lernfähig, Gedächtnis, Spielfreude und Neugierde sind ganz erstaunlich. Die Tiere sind aber nicht in der Lage, Umweltgegebenheiten aktiv zu verändern, es fehlt ihnen das Werkzeug. Die herausragenden Fähigkeiten des Menschen haben zwar ihre Ursachen in den Hirnleistungen, aber ohne die Greifhand wäre die aktive Umgestaltung der Umwelt nicht möglich gewesen.

Literatur

- EDINGER, T. (1959): Die Paläoneurologie am Beginn einer neuen Phase. *Experientia* Vol. **VI**/7, 250–258.
- HALLER, A. v. (1762): *Elementa Physiologiae Corporis Humani* IV, Lausanne.
- GORE, R. (1997): The dawn of humans – the first steps. *National Geographic* Vol. **191**, No. 2, p. 72–99.
- HERRE, W., RÖHRS, M. (1990): *Haustiere – zoologisch gesehen*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- RÖHRS, M. (1985): Cephalisation bei Feliden. *Z. Säugetierkunde* **50**, 234–240.
- RÖHRS, M. (1986): Cephalisation, Telencephalisation und Neocorticalisation bei Mustelidae. *Z. zool. Syst. Evolut.-forsch.* **21**, 314–318.
- RÖHRS, M. (1986): Cephalisation bei Caniden. *Z. zool. Syst. Evolut.-forsch.* **24**, 300–307.
- RÖHRS, M., EBINGER, P., WEIDEMANN, W. (1989): Cephalisation bei Viverridae, Hyaenidae, Procyonidae und Ursidae. *Z. zool. Syst. Evolut.-forsch.* **27**, 169–180.
- RÖHRS, M., EBINGER, P. (1993): Progressive und regressive Hirngrößenveränderungen bei Equiden. *Z. zool. Syst. Evolut.-forsch.* **31**, 233–239.
- STARCK, D. (1995): *Säugetiere*. Bd. **II** Wirbeltiere. Teil 5/2. G. Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, New York.
- STEPHAN, H., BARON, G.M., FRAHM, H.D., STEPHAN, M. (1986): Größenvergleiche an Gehirnen und Hirnstrukturen von Säugern. *Z. mikrosk.-anat. Forsch.* **200**, 189–212.

Prof. Dr. rer. nat. Manfred Röhrs
Im Dorffeld 43
30966 Hemmingen